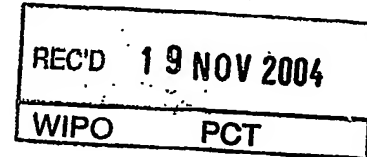


09. NOV. 2004



EPO4/011453

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 50 800.7  
**Anmeldetag:** 29. Oktober 2003  
**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG,  
70567 Stuttgart/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine  
**IPC:** F 02 B, F 02 M

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 28. Oktober 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag



Schäfer

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

DaimlerChrysler AG

Aifan

28.10.2003

Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, insbesondere eine selbstzündende Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung.

Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung werden oftmals homogene magere Kraftstoff/Luft-Gemische zur Selbstzündung gebracht, so dass hohe Wirkungsgrade und verbesserte Abgasemissionen erzielt werden. Bei solchen sogenannten HCCI- bzw. PCCI-Brennkraftmaschinen, auch als Brennkraftmaschinen mit Raumzündverbrennung bekannt, wird in der Regel bei Teillast ein mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas gebildet und selbstgezündet. Bei Volllast wird häufig ein stöchiometrisches Gemisch gebildet und fremdgezündet, denn bei hohen Lasten könnten durch die Selbstzündung steile Druckanstiege im Brennraum auftreten, welche zu einer Beeinträchtigung des Betriebs führen würden.

Aus der Patentschrift DE 198 10 935 C2 ist ein Verfahren zum Betrieb einer nach dem Vier-Takt-Prinzip arbeitenden Brennkraftmaschine bekannt, bei dem ein homogenes mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas gebildet wird, welches nach einer Kompressionszündung verbrannt wird. Dabei wird zur Erweiterung des motorischen Betriebsbereiches mit Kompressionszündung eine Aktivierungsphase eingeschaltet. Während der Kompression des zurückgehaltenen Abgases wird eine Aktivierungskraftstoffmenge in den Brennraum eingespritzt und mit den restlichen Gemischanteilen im

Brennraum möglichst homogen verteilt. Dem Gemisch wird hierdurch thermische Energie durch Leistung und Kompression zugeführt, so dass eine chemische Reaktion bzw. eine Zündung in der Nähe des oberen Ladungswechsel-Totpunkts eingeleitet wird. Über den Zeitpunkt und die Menge der Aktivierungseinspritzung kann der Zündzeitpunkt der Frischladung bei der Hauptverbrennung gesteuert werden.

Nach heutigem Stand der Technik ist eine gezielte Steuerung der oben beschriebenen Verbrennung nur schwer zu erreichen, da der Zeitpunkt der Selbstzündung sehr stark von den motorischen Parametern und den Umgebungsbedingungen abhängt. Daher wird versucht, mit Hilfe bestimmter Regelgrößen z.B. durch ein Zylinderdrucksignal die Einleitung der Kompressionszündung zu steuern. Solche Konzepte sind allerdings mit einem hohen Aufwand an Motorsteuerungstechnik verbunden, die zu einem Anstieg der Herstellungskosten bei derartigen Brennkraftmaschinen führt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine zu schaffen, bei dem ein zuverlässiger Betrieb mit Selbstzündung gewährleistet wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass im Brennraum einer Brennkraftmaschine Abgas zurückgehalten wird, welches während eines Ladungswechsels komprimiert wird, wobei mittels einer direkten Kraftstoffeinspritzung eine erste Kraftstoffmenge in das zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird. Nachfolgend wird, vorzugsweise während der Ansaugphase und/oder in einem Anfangsteil der Kompressionsphase, dem Brennraum eine zweite Kraftstoffmenge zugeführt, so dass im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luft-Gemisch gebildet wird. Dabei wird ein Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraft-

stoff/Luft-Gemisches in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt.

Die Einspritzung der ersten Kraftstoffmenge ins zurückgehaltene Abgas bewirkt eine optimale Homogenisierung bzw. eine Vorkonditionierung der ersten Kraftstoffmenge, welche zu einer Erhöhung einer Gemischreaktivität des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemisches führt. Hierdurch wird das Einsetzen der Selbstzündung, insbesondere bei Betriebspunkten mit geringer Abgastemperatur begünstigt. Vorzugsweise wird die erste Kraftstoffeinspritzung zwischen einem Schließen eines Auslassventils und einem Öffnen eines Einlassventils vorgenommen. Je nach Einspritzzeitpunkt der ersten Kraftstoffmenge kann der Vorkonditionierungseffekt über die reine Homogenisierung hinausgehen. Wenn insbesondere der Kraftstoff vor dem oberen Ladungswechsel-Totpunkt ins zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird, das auch Restluft enthält, kann es zu umsetzungsartigen Reaktionen kommen, durch die die Gemischtemperatur beeinflusst, insbesondere erhöht werden kann.

In Ausgestaltung der Erfindung wird das Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge von 1:100 bis 2:1, insbesondere von 1:5 bis 1:3 eingestellt. Hierdurch kann der Vorkonditionierungseffekt mittels der ersten Kraftstoffmenge dem gefahrenen Betriebspunkt angepasst werden. Vorzugsweise findet die Einspritzung der zweiten Kraftstoffmenge saugsynchron statt, so dass die durch die erste Kraftstoffmenge eingestellte Gemischreaktivität weder erhöht noch vermindert wird. Die zweite Kraftstoffmenge dient somit in erster Linie zur Einstellung einer gewünschten Last.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine Schwerpunktlage der Verbrennung mittels einer Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge eingestellt, die nach Beendigung der Einspritzung der zweiten Kraftstoffmenge und vorzugsweise vor einem oberen Zünd-Totpunkt vorgenommen wird.

Die dritte Kraftstoffmenge zielt insbesondere bei hohen Lasten auf eine Minderung der Reaktivität der Gesamtzylinderladung ab. Hierdurch sollen große Brenngeschwindigkeiten bzw. hohe Druckanstiege im Brennraum vermindert werden.

5

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Dauer der Verbrennung in Abhängigkeit von der dritten Kraftstoffmenge und ihrem Einspritzzeitpunkt eingestellt. Mit der durch die dritte Kraftstoffmenge erzielte Verminderung der Gemischreaktivität wird ein Durchbrennen der Zylinderladung verlangsamt, so dass je nach Einspritzzeitpunkt der dritten Kraftstoffmenge die Verbrennungsdauer lastabhängig optimiert werden kann.

10

15 Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der Beschreibung. Ein konkretes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

20

Die einzige Figur zeigt in schematischer Darstellungsweise einen Zylinderdruckverlauf einer Brennkraftmaschine, die wahlweise mit Selbstzündung und/oder mit Fremdzündung betrieben wird.

25

Eine beispielhafte Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung umfasst mindestens einen Zylinder, in dem ein längsverschieblich gehaltener Kolben geführt ist, wobei pro Brennraum mindestens ein Einlassventil, ein Auslassventil, ein Kraftstoffinjektor und wahlweise eine Zündquelle vorgesehen sind. Der Brennraum der Brennkraftmaschine wird von einem Zylinderkopf nach oben hin abgeschlossen, wobei der Kolben den Brennraum nach unten hin begrenzt. Die Einlass- und Auslassventile werden von einer Betätigungsvorrichtung geöffnet und geschlossen, wobei ein Steuergerät die Öffnungs- und Schließzeitpunkte der Einlass- und Auslassventile dem gefahrenen Betriebspunkt entsprechend steuert. Vorzugsweise arbeitet die Brennkraftmaschine nach dem 4-Takt-Prinzip.

30

35

Bei einem 4-Takt-Verfahren entspricht ein Takt einem vollen Kolbenhub. Gemäß der gezeigten Figur ist der Verlauf des Brennraumdruckes während eines Arbeitsspiels der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine dargestellt. Das aus vier Takten bestehende Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine entspricht einem Verbrennungszyklus, wobei ein Verbrennungszyklus mit einem ersten Ansaugtakt bei einem oberen Ladungswechsel-Totpunkt LOT beginnt, bei dem sich der Kolben in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt UT bewegt. Beim Ansaugtakt wird dem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt, wobei erfindungsgemäß in einem Ausschiebetakt eines vorherigen Arbeitsspiels eine bestimmte Menge an Abgas im Brennraum zurückgehalten wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zielt darauf ab, mittels einer ersten Einspritzung E1, die in den mit zurückgehaltenem Abgas gefüllten Brennraum eingebracht wird, eine bestimmte Gemischreaktivität eines aus der ersten und einer nachfolgenden zweiten Kraftstoffmenge E2 gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemisches einzustellen. Hierdurch wird das Einsetzen der Selbstzündung geregelt bzw. gesteuert. Dies ist insbesondere bei Betriebspunkten mit geringer Abgastemperatur vorteilhaft, da ein zuverlässiger Betrieb der Brennkraftmaschine mit Kompressionszündung auch in unteren Drehzahl- und Lastbereichen ermöglicht wird.

Durch die erste Kraftstoffmenge E1 steht für eine anschließende Hauptverbrennung ein höheres Energie bzw. Temperaturniveau zur Verfügung, wodurch ein Energieverlust aufgrund der kleineren umgesetzten Kraftstoffmenge bei der Realisierung niedriger Motorlasten kompensiert werden kann. Dadurch wird der mit Kompressionszündung gefahrene Betriebsbereich vergrößert, so dass weiterhin verbesserte Abgasemissionen beispielsweise bei Leerlauf erzielt werden können.

Vorzugsweise wird die erste Kraftstoffeinspritzung E1 zwischen dem Schließen des Auslassventils AS und dem Öffnen des Einlassventils EÖ vorgenommen. Alternativ kann die erste Kraftstoffmenge in das im Brennraum zurückgehaltene Abgas während des Ausschiebetakts der Brennkraftmaschine zwischen dem Schließen des Auslassventils AS und 270°KW vor einem oberen Zünd-Totpunkt ZOT eingespritzt werden.

Alternativ kann die erste Kraftstoffmenge E1 in einem Bereich zwischen dem Schließen des Auslassventils AS und einem Ladungswechsel-Totpunkt LOT in den Brennraum eingebracht werden. Hierdurch werden die Umsetzungsartigen Reaktionen bei der ersten Kraftstoffeinspritzung E1 erhöht. Die Einspritzung der ersten Kraftstoffmenge E1 führt zu umsetzungsartigen Reaktionen, mit denen die Gemischendtemperatur beeinflusst wird. Somit kann der Selbstzündzeitpunkt beeinflusst werden. Vorzugsweise beträgt die erste Kraftstoffmenge zwischen 0% und 30% der Gesamtkraftstoffmenge, wobei die zweite Kraftstoffmenge zwischen 30% bis 100% der Gesamtkraftstoffmenge betragen kann.

Durch die Einbringung der zweiten Kraftstoffmenge E2 in den Brennraum wird das Hauptgemisch gebildet, das im Kompressionstakt verdichtet wird. Während des Kompressionstaktes bewegt sich der Kolben in einer Aufwärtsbewegung vom unteren Totpunkt UT bis zum oberen Zünd-Totpunkt ZOT. Das gebildete Hauptgemisch wird in einem Bereich des oberen Zünd-Totpunkts ZOT durch die vorliegende Kompression gezündet. Erfindungsgemäß wird der Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemischs in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis E1/E2 der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt. Vorzugsweise beträgt das Mengenverhältnis E1:E2 der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge zwischen 1:100 und 2:1. Eine besonders vorteilhafte Vorkonditionierung des Hauptgemisches stellt sich bei einem Mengenverhältnis E1:E2 zwischen 1:20 und 2:1 oder zwischen 1:5 und 1:3 ein. Vorzugsweise wird die zweite Kraft-

stoffmenge E2 in einem Bereich zwischen 300°KW und 120°KW vor dem oberen Zünd-Totpunkt ZOT in den Brennraum eingespritzt.

5 Während der noch laufenden Verbrennung des Hauptgemisches expandiert der Kolben in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt UT. Die Schwerpunktlage der Verbrennung kann erfindungsgemäß mittels einer Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge E3 optimiert werden. Die dritte Kraftstoff-

10 Kraftstoffmenge E2 in den Brennraum eingebracht. Wahlweise findet eine Einspritzung der dritten Kraftstoffmenge E3 vor oder nach dem Einsetzen der Selbstzündung statt, wobei vorzugsweise vor dem oberen Zünd-Totpunkt ZOT eingespritzt wird, so dass die Reaktivität des Hauptgemisches bzw. der Gesamtzy-

15 linderladung vermindert bzw. verändert werden kann. Die dritte Kraftstoffeinspritzung E3 kann in vorteilhafter Weise die Dauer der Verbrennung in Abhängigkeit von ihrem Einspritzzeitpunkt und/oder ihrer Menge steuern. Hierdurch werden steile Druckanstiege im Brennraum verhindert und somit besse-

20 re Abgasemissionen erzielt. Vorzugsweise beträgt die dritte Kraftstoffmenge E3 0% bis 30% der Gesamtkraftstoffmenge.

Im darauf folgenden Ausschiebetakt fährt der Kolben in einer Aufwärtsbewegung bis zum oberen Ladungswechsel-Totpunkt LOT und schiebt die Abgase aus dem Brennraum aus. Während des Ausschiebetakts wird das Auslassventil geöffnet (AÖ), so dass die Abgase aus dem Brennraum ausgeschoben werden, wobei durch ein frühzeitiges Schließen des Auslassventils (AS) eine bestimmte Menge an Abgas im Brennraum zurückgehalten wird.

30 Erfindungsgemäß findet im Bereich des oberen Ladungswechsel-Totpunkts LOT die Umsetzung der ersten Kraftstoffmenge E1 statt, so dass durch eine Vorkonditionierung bzw. eine Zusatzverbrennung eine Anhebung der Brennraumtemperatur stattfindet. Dies führt zu einer Anhebung des Brennraumdruckes.

35 Durch die Energieumsetzung im Bereich des oberen Ladungswechsel-Totpunkts LOT wird ebenfalls die Temperatur des im Brenn-



- raum zurückgehaltenen Abgases insgesamt angehoben, so dass die hohen Wärmeverluste des Abgases an eine Brennraumwandung, insbesondere in unteren Drehzahl- und Lastbereichen kompensiert werden. Für die anschließende Hauptverbrennung steht
- 5 somit ein höheres Energie- bzw. Temperaturniveau zur Verfügung, wodurch ein Energieverlust aufgrund der kleineren umgesetzten Kraftstoffmenge bei der Realisierung niedriger Motorlasten kompensiert werden kann. Dadurch wird ein zuverlässiger Betrieb der Brennkraftmaschine mit Kompressionszündung
- 10 auch in unteren Drehzahl- und Lastbereichen ermöglicht. Der mit Kompressionszündung gefahrene Betriebsbereich wird somit vergrößert, so dass weiterhin verbesserte Abgasemissionen beispielsweise im Leerlauf erzielt werden können.
- 15 Alternativ kann das Hauptgemisch lastabhängig, beispielsweise im Startbetrieb oder in Bereichen mit hoher Last, insbesondere bei Volllast, mittels einer Zündquelle fremdgezündet werden.
- 20 Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann die Brennkraftmaschine im wesentlichen bei allen Lastpunkten bzw. in allen Lastbereichen mit Kompressionszündung betrieben werden, ohne dass es zu Zündaussetzern kommt. Durch die erste Kraftstoffeinspritzung E1 wird der Betrieb einer HCCI-
- 25 Brennkraftmaschine bei kleinen Lasten ermöglicht, wobei durch die optionale dritte Kraftstoffeinspritzung E3 bei hohen Lasten steile Druckanstiege vermieden werden. Durch die Anhebung der Temperatur im Brennraum beim oberen Ladungswechsel-Totpunkt LOT wird sichergestellt, dass möglichst in jedem
- 30 Verbrennungszyklus eine Verbrennung mit Kompressionszündung stattfinden kann.

Es ist denkbar, die erste Kraftstoffeinspritzung E1 auszulassen, und das erfindungsgemäße Verfahren mit der zweiten E2

35 und der dritten Kraftstoffeinspritzung E3 durchzuführen.

DaimlerChrysler AG

Aifan

28.10.2003

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit einem Zylinder, einem Zylinderkopf, in dem mindestens ein Einlass- und ein Auslassventil angeordnet sind, einem Kolben und einem zwischen dem Zylinderkopf und dem Kolben begrenzten Brennraum, bei dem

- im Brennraum Abgas zurückgehalten wird, welches während eines Ladungswechsels komprimiert wird, wobei
- mittels einer direkten Kraftstoffeinspritzung eine erste Kraftstoffmenge in das zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird, und
- nachfolgend dem Brennraum eine zweite Kraftstoffmenge zugeführt wird, so dass im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luft-Gemisch gebildet wird,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- dass ein Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemischs in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1

- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass das Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge zwischen 1:100 und 2:1, insbesondere zwischen 1:20 und 2:1 oder 1:5 und 1:3 eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Schwerpunktlage der Verbrennung mittels einer  
Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge eingestellt  
wird, die nach Beendigung der zweiten Kraftstoffmenge und  
vor einem oberen Zünd-Totpunkt vorgenommen wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Dauer der Verbrennung in Abhängigkeit von der  
dritten Kraftstoffmenge und/oder ihrem Einspritzzeitpunkt  
eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die erste Kraftstoffmenge zwischen 0% und 30% der  
Gesamtkraftstoffmenge beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die zweite Kraftstoffmenge zwischen 40% und 100% der  
Gesamtkraftstoffmenge beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die dritte Kraftstoffmenge zwischen 0% und 30% der  
Gesamtkraftstoffmenge beträgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die erste Kraftstoffmenge in das im Brennraum zu-  
rückgehaltene Abgas während des Ausschiebetakts der  
Brennkraftmaschine nach dem Schließen eines Auslassven-  
tils und 270°KW vor einem oberen Zünd-Totpunkt einge-  
spritzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die erste Kraftstoffmenge in einem Bereich zwischen  
dem Schließen des Auslassventils und einem Ladungswech-  
5 sel-Totpunkt in den Brennraum eingebracht wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die zweite Kraftstoffmenge in einem Bereich zwischen  
10 300°KW und 120°KW vor dem oberen Zünd-Totpunkt in den  
Brennraum eingespritzt wird.

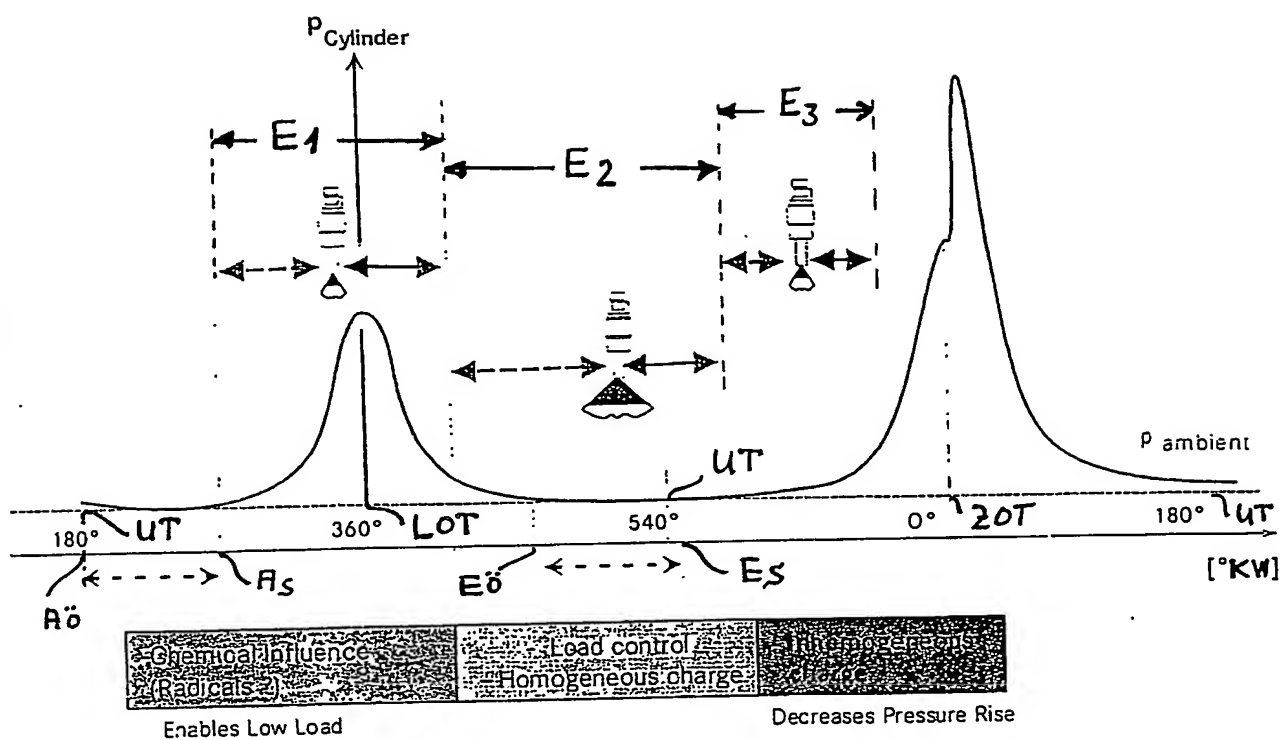


Fig.

DaimlerChrysler AG

Aifan

28.10.2003

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, bei dem im Brennraum einer Brennkraftmaschine Abgas zurückgehalten wird, das während eines Ladungswechsels komprimiert wird, wobei mittels einer direkten Kraftstoffeinspritzung eine erste Kraftstoffmenge in das zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird. Nachfolgend wird dem Brennraum eine zweite Kraftstoffmenge zugeführt, so dass im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luft-Gemisch erzielt wird. Dabei wird ein Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemisches in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt.